

運動速度とコントラストが知覚的位置ずれに与える影響

中嶋 豊・佐藤 隆夫

東京大学大学院 人文社会系研究科
〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

1. 序 論

運動に誘導される知覚的位置ずれに関して、時間的側面から一過的／持続的という区分が提唱されている¹⁾。このうち持続的運動信号による知覚的位置ずれとして、Matin et al. (1976)²⁾が報告した、一直線上に配置した二本の線刺激を回転運動させると、それらがずれて知覚される現象がある。彼らはこの現象を、回転の周辺部と中心部の接線速度差により単位時間当たりの輝度信号が周辺部では弱くなり、その結果、周辺部が時間的に遅れて知覚されることに依るとしている。一方、Anstis (1989)³⁾、De Valois and De Valois (1991)⁴⁾は運動方向と同方向への運動提示窓の位置ずれを報告している。この位置ずれは方向が逆であり、また、速度の上昇にともなって位置ずれの量も増大するという点でMatin et al. (1976)²⁾の現象とは異なる。このように運動による位置ずれとして運動の方向と同一方向、反対方向の2つのタイプが存在する。それぞれの研究^{2,4)}において運動による知覚的位置ずれに対する輝度信号の影響、運動信号の影響が示唆されているものの、両者の関係は不明瞭である。そこで、本研究では、輝度強度と運動速度を独立に操作し、運動による位置ずれとの関係を検討した。

2. 実 験 1

2.1 目的

Matin et al. (1976)²⁾の用いた回転運動刺激

では、中心からの距離に依存して接線速度に差が生じる。この接線速度差に依存して単位時間当たりの輝度強度も変化するため、位置ずれに対する運動速度と輝度強度の影響を独立に考えることは難しい。実験1では静止したガウス窓内のキャリアのみが運動する複数のガボールパッチを配置しパッチ間に運動速度差を設けた刺激を用い(図1a)、単位時間当たりの輝度強度は変化せず、運動速度のみが異なる場合において、位置ずれ方向を検討した。運動速度差(以下、速度勾配)は画面中心部から周辺方向へ速度が増加する条件(周辺加速条件)、中心方向へ速度が増加する条件(中心加速条件)、速度差のない条件(速度差なし条件)を設けた(図1b)。仮に運動方向へのずれ⁴⁾が生じるのであれば、周辺加速条件において刺激配置は運動方向へ傾いて知覚されると予測される。一方、中心加速条件においては運動方向と反対方向へ傾いて知覚されると考えられる。また運動方向と反対方向のずれ²⁾が生じるのであれば、周辺加速条件では運動方向と反対方向への傾き、中心加速条件では運動方向への傾きが知覚されることが予測される。

2.2 方法

正常な視力(矯正視力を含む)を持つ成人16名が実験に参加した。Mac miniを用い、Psychlops (<http://psychlops.l.u-tokyo.ac.jp>)によって作成、制御した刺激を、17インチCRTモニタ(垂直同期85 Hz、画面解像度800×600 pixel)に提示した。観察距離は約57 cmであり、顎台を用いた。

刺激として4個のガボールパッチを注視点上

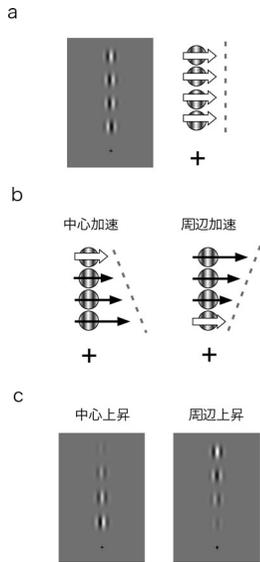


図1 a. 本研究で用いた刺激の模式図。灰色の点線は運動提示窓の位置ずれから予測される刺激の傾きを示す。黒十字は注視点を示す。b. 速度勾配条件。矢印の長さは速度、白抜き矢印は基準となる速度 (0.93 deg/sec) を示す。c. コントラスト勾配条件。

方に配置した (図 1a)。注視点から最も近いパッチの中心までの距離は 2 deg とし、各パッチの中心間の距離はそれぞれ 2 deg とした。ガボールパッチのキャリアの空間周波数は 1.5 cycle/deg、ガウス窓の標準偏差は 0.34 deg とした。刺激は静止したガウス窓内のキャリアの正弦波のみが運動し、速度差なし条件における運動速度は全て 0.93 deg/sec とした。周辺加速条件では注視点に最も近いパッチの速度を基準 (0.93 deg/sec) とし、速度勾配として隣り合うパッチの差分を +0.46, +0.93, +1.39 deg/sec とした (それぞれ傾き 1, 2, 3, 図 1b)。中心加速条件では注視点から最も遠いパッチの速度を基準 (0.93 deg/sec) とし、周辺加速条件とは反対方向に速度勾配を持たせた (図 1b)。全てのパッチのコントラストは等しく、条件ごとに Michelson contrast で 0.1, 0.4, 0.7, 1.0 とした。また、全てのパッチの運動は右方向もしくは左方向とした (運動方向条件)。

実験は暗室内にて行った。試行の始めに 100

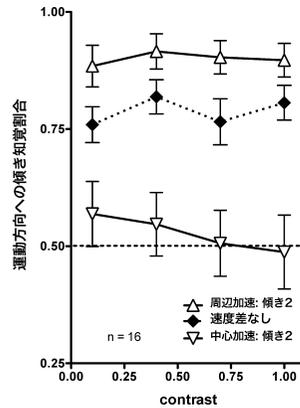


図2 実験1の結果。縦軸は刺激配列が運動方向へ傾いて知覚された割合、横軸はコントラストを示す。エラーバーは標準誤差を示す。速度勾配条件に関しては勾配のある条件間に統計的に差が見られなかったため、それぞれ傾き2条件のみを抜粋しプロットした。灰色の点線はチャンスレベル (50%) を示す。

msec のブランク (平均輝度の背景と注視点のみ) を提示した後、刺激を 400 msec 提示した。刺激の提示順序はランダムとした。参加者の課題は提示された刺激配列の傾きを右もしくは左の 2AFC で判断することであった。判断の後、直ちに次の試行へと移った。速度勾配 7 条件、コントラスト 4 条件、運動方向 2 条件を各 10 試行行い、合計 560 試行を行った。

2.3 結果と考察

各参加者、各条件における刺激が運動方向へ傾いて知覚された割合から、全体の平均を求めた (図 2)。また、左右の運動方向間で統計的な差が認められなかったためまとめて集計した。

周辺加速条件では運動方向へ傾いて知覚される割合が高く、その割合はコントラストに依存せずほぼ一定であった。この結果は、運動方向への位置ずれが、運動速度が速いほど生じやすいことを示す。中心加速条件では運動方向へ傾いて知覚される割合は約 50% に低下したが、コントラストに関わらずほぼ一定となった。速度差なし条件においてもコントラストの効果は認められず、この割合は約 75% であった。こうした結果は、周辺視における知覚速度の過大視と

関連して解釈することもできる⁵⁾。つまり、周辺に提示された刺激ほど速度が過大評価され、その知覚速度がそれぞれの速度勾配条件に加算され、その速度差に応じた傾きを知覚したと考えるわけである。

本実験の結果は Matin et al. (1976)²⁾ の結果とは一致しない。彼らの回転刺激は運動速度と単位時間当たりの輝度強度が反比例の関係にあり、これが位置ずれの方向を逆転させた可能性がある。そこで、実験2において、輝度強度変化と運動速度差の関係を検討した。

3. 実験 2

3.1 目的

運動速度と輝度強度の最大値の不一致が Matin et al. (1976)²⁾ と De Valois and De Valois (1991)⁴⁾ の結果の違いを説明し得るかどうかを検討するため、実験2では周辺加速条件において、コントラスト強度（以下、コントラスト勾配）が中心方向へ上昇する条件（中心上昇条件）、周辺方向へ上昇する条件（周辺上昇条件）を設定し（図1c）、コントラスト勾配と速度勾配の変化方向の一致／不一致が知覚的位置ずれに与える効果を検討した。Thompson (1982)⁵⁾ は輝度コントラストの上昇に伴い運動速度が過大視される傾向を報告しており、各運動提示窓の位置ずれ^{3,4)} は、コントラストの上昇により増大することが予測される。つまり周辺上昇条件ではコントラスト勾配の増大により傾き知覚割合が増加し、中心上昇条件では減少すると考えられる（図1）。一方、Matin et al. (1976)²⁾ の結果に従った場合には前述の傾向と反対の傾向が予測される。

3.2 方法

正常な視力（矯正視力を含む）を持つ成人10名（中心上昇条件）もしくは11名（周辺上昇条件）が実験に参加した。実験環境と手続きは実験1と同様であった。刺激の速度勾配条件は実験1における速度差なし条件、周辺加速3条件とした（図1b）。コントラスト勾配の中心上昇条件では、注視点から最も遠いパッチのコン

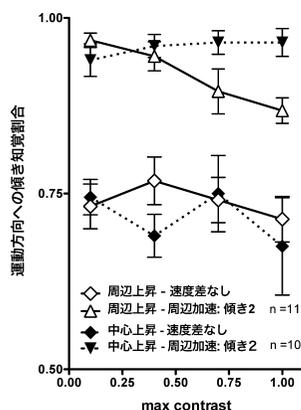


図3 実験2の結果。縦軸は刺激配列が運動方向へ傾いて知覚された割合、横軸は周辺上昇条件、中心上昇条件それぞれにおける最大のコントラストを示す。エラーバーは標準誤差を示す。速度勾配条件に関しては実験1同様それぞれ傾き2条件のみを抜粋しプロットした。

トラストを基準（0.1）とし、隣り合うパッチとの差分をそれぞれ +0.1, +0.2, +0.3 とした（傾き1, 2, 3, 図3c）。周辺上昇条件では注視点から最も近いパッチのコントラストを基準（0.1）とし、中心上昇条件における傾きと同じ大ききで反対方向にコントラスト勾配を設けた（図1c）。中心上昇条件と周辺上昇条件は別の参加者群に対して実施した。コントラスト勾配条件ごとに、速度勾配4条件、コントラスト4条件、運動方向2条件を各10試行行い、計320試行を行った。

3.3 結果と考察

実験1と同様、各参加者、各条件において刺激が運動方向へ傾いて知覚された割合を基に、全体の平均を求めた（図3）。また、左右の運動方向の間で統計的に差が見られなかったためまとめて集計した。

速度差なし条件においてはコントラスト勾配に依存せずほぼ75%の割合で運動方向への傾きが知覚された。また、周辺上昇条件、中心上昇条件ともにコントラスト勾配に依存せず、高い割合で運動方向への傾き知覚が認められた。ただし、周辺上昇条件においてはコントラスト勾配が増大するにつれ、運動方向への傾き知覚が

減少する傾向もみられた。これらの結果は、運動による位置ずれが、コントラスト勾配と速度勾配の一致／不一致に関わらず、主に運動速度差に依存することを示唆する。

4. 総合考察

本研究では、知覚的位置ずれに対する運動速度と輝度コントラストの関係性について検討を行った。その結果、運動速度が速いほど運動方向への知覚的位置ずれが生じることが明らかとなり（実験1, 図2）。また、コントラスト勾配と速度勾配の一致／不一致に関わらず運動速度差が知覚位置を決定する可能性が示唆された（実験2, 図3）。これらの結果は、運動による知覚的位置ずれは運動方向へ生じ、かつ運動速度が速いほど増大することを意味し、De Valois and De Valois (1991)⁴⁾ の報告と一致するものである。

実験2の周辺上昇条件においてはコントラスト勾配の増加により運動方向への傾き知覚が減少する傾向が見られた。このことは、輝度コントラストの上昇によって知覚的位置ずれが減少する可能性を示唆する。輝度コントラストが低い場合に知覚的位置ずれが増大する傾向は、位置ずれの方向を無視すれば Matin et al. (1976)²⁾ においても示されている。Matin et al. (1976)²⁾ の結果との位置ずれ方向に関する不一致は、用いた刺激の構造の差によるものである可能性を指摘することができる。De Valois and De Valois (1991)⁴⁾ や本研究では運動提示窓が固定されキャリアのみが運動する刺激であり、Matin et al. (1976)²⁾ では、物体そのものが運動する刺激であった。この時、物体の回転運動によって生じる運動速度差は位置ずれに寄与するのではなく単位時空間当たりの輝度信号強度を定義し、その輝度の強弱が知覚位置の決定に寄与していると考えられる。一方、単位時空間当たりの輝度信号が一定となる提示窓内部の運動では、運動ベクトルがずれの方向と大きさを決定し、かつ輝度信号もずれの大きさの決定に関与すると考えられる。最近、Whitney et al. (2003)⁷⁾

は、知覚的位置ずれの生じる運動刺激と生じない運動刺激の脳内活動部位に違いは見られず、提示窓内の運動開始位置 (trailing edge) に活動のピークが見られたことを報告した。また Arnold, Thompson and Johnston (2007)⁸⁾ は位置ずれが生じるのは提示窓内部ではなく、運動の終点位置 (leading edge) であること、高コントラスト刺激 (100%) の trailing edge 外側においてコントラスト検出閾が高く提示窓外側への抑制が強いことを報告している。これらの結果は、運動提示窓の位置知覚が運動信号のみに依存せず、提示窓内部と外部との関係性も位置知覚に寄与する可能性を示唆する。本研究の結果と照合すると、提示窓の内部と外部の関係性は輝度コントラスト差に対応するものと考えられる。実験2における周辺上昇条件の結果 (図3) はこうした要因から生じた可能性がある。

今回の結果から、運動による知覚的位置ずれが輝度コントラストよりは、むしろ運動速度に依存することが明らかとなった。ただし、高コントラスト刺激における知覚的位置ずれの減少傾向は、輝度コントラストが知覚位置の安定に寄与する可能性を示唆すると考えられる。

謝辞 本研究は日本学術振興会科学研究費補助金 (特別研究員奨励費, 課題番号 06J10668) の助成を受け行った。また、全ての実験は専修大学文学部心理学研究室において行った。

文 献

- 1) D. Whitney: The influence of visual motion on perceived position. *Trends in Cognitive Sciences*, **6**, 211–216, 2002.
- 2) L. Matin, K. R. Boff and J. Pola: Vernier offset produced by rotary target motion. *Perception and Psychophysics*, **20**, 138–142, 1976.
- 3) S. M. Anstis: Kinetic edges become displaced, segregated, or invisible. *D. M.-K. Lam and C. D. Gilbert (eds.): Neural mechanisms of visual perception*. Portfolio Press, Texas, 247–260, 1989.
- 4) R. L. De Valois and K. K. De Valois: Vernier

- acuity with stationary moving Gabors. *Vision Research*, **31**, 1619–1626, 1991.
- 5) P. D. Tynan and R. Sekuler: Motion processing in peripheral vision: reaction time and perceived velocity. *Vision Research*, **22**, 61–68, 1982.
 - 6) P. Thompson: Perceived rate of movement depends on contrast. *Vision Research*, **22**, 377–380, 1982.
 - 7) D. Whitney, H. C. Goltz, C. G. Thomas, J. S. Gati, R. S. Menon, and M. A. Goodale: Flexible retinotopy: Motion dependent position coding in the visual cortex. *Science*, **302**, 878–881, 2003.
 - 8) D. H. Arnold, M. Thompson and A. Johnston: Motion and position coding. *Vision Research*, **47**, 2403–2410, 2007.